

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-337818

(43) 公開日 平成11年(1999)12月10日

(51) Int. Cl. <sup>6</sup>

G02B 13/00

13/18

識別記号

F I

G02B 13/00

13/18

審査請求 未請求 請求項の数 7 ○ L (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願平 10-150361

(22) 出願日 平成 10 年 (1998) 5 月 29 日

(71) 出願人 000000527

旭光学工業株式会社

東京都板橋区前野町 2 丁目 36 番 9 号

(72) 発明者 丸山 晃一

東京都板橋区前野町 2 丁目 36 番 9 号 旭光

学工業株式会社内

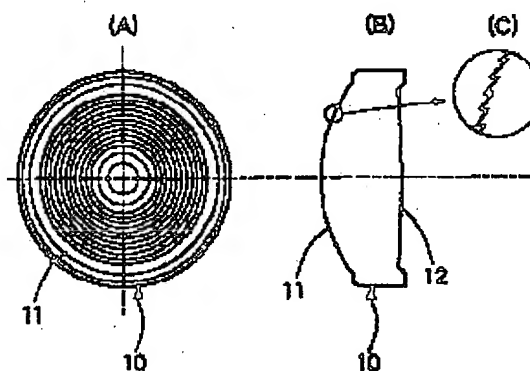
(74) 代理人 弁理士 金井 英幸

(54) 【発明の名称】 光ヘッド用対物レンズ

(57) 【要約】

【課題】 温度変化による波面収差の変化を小さく抑え、高 NA の対物レンズとして利用する場合にも、利用可能な温度範囲を広げることができる光ヘッド用対物レンズを提供することを課題 (目的) とする。

【解決手段】 対物レンズ 10 は、両面が凸の非球面である樹脂製単レンズであり、一方のレンズ面 11 に光軸を中心とした輪帯状のパターンとして回折レンズ構造が形成されている。回折レンズ構造は、入射光の波長が長波長側にシフトした際に、球面収差が補正不足となる方向に変化するような球面収差特性を有している。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 正のパワーを有する屈折レンズの少なくとも一方のレンズ面に、微細な輪帯状の段差を有する回折レンズ構造を形成して構成される光ヘッド用対物レンズにおいて、

前記回折レンズ構造は、入射光の波長が長波長側にシフトした際に、球面収差が補正不足となる方向に変化するような球面収差特性を有することを特徴とする光ヘッド用対物レンズ。

【請求項2】 前記屈折レンズは、樹脂製であることを特徴とする請求項1に記載の光ヘッド用対物レンズ。

$$-75.0 < P4 \times (h_{\max})^4 / (f \times NA^4) < -25.0 \quad \dots(1)$$

の条件を満たすことを特徴とする請求項1～3のいずれかに記載の光ヘッド用対物レンズ。

【請求項5】 前記屈折レンズと前記回折レンズ構造との作用を合わせた場合、入射光の波長が長波長側にシフトした際に、バックフォーカスが延びる方向に変化するような軸上色収差特性を有し、波長の変化に対するマージナル光線の球面収差の変化量を $\Delta SA$ 、軸上色収差の変化量を $\Delta CA$ として、

$$-1 < \Delta CA / \Delta SA < 0 \quad \dots(2)$$

の条件を満たすことを特徴とする請求項1～4のいずれかに記載の光ヘッド用対物レンズ。

【請求項6】 前記球面収差の変化量 $\Delta SA$ 、前記軸上色収差の変化量 $\Delta CA$ が、さらに

$$-0.7 < \Delta CA / \Delta SA < -0.5 \quad \dots(2')$$

の条件を満たすことを特徴とする請求項5に記載の光ヘッド用対物レンズ。

【請求項7】 前記回折レンズ構造は、近軸的に正のパワーを有し、前記回折レンズ構造による光路長の付加量を、光軸からの高さ $h$ 、 $n$ 次(偶数次)の光路差関数係数 $P_n$ 、波長 $\lambda$ を用いて、

$$\phi(h) = (P_2 h^2 + P_4 h^4 + P_6 h^6 + \dots) \times \lambda$$

により定義される光路差関数 $\phi(h)$ により表したとき、

$$fD = 1 / (-P_2 \times 2\lambda)$$

により定義される回折レンズ構造のみの焦点距離 $fD$ と、屈折レンズと回折レンズ構造とを合わせた全体の焦点距離 $f$ との関係が、

$$40.0 < fD / f < 140.0 \quad \dots(3)$$

の条件を満たすことを特徴とする請求項4～6のいずれかに記載の光ヘッド用対物レンズ。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、デジタルビデオディスク(DVD)装置、あるいは光磁気ディスク(MO)装置等の光情報記録再生装置の光ヘッドに使用される高NA(開口数)の対物レンズに関し、特に、屈折レンズのレンズ面に回折レンズ構造が形成された対物レンズに関する。

## 【0002】

【請求項3】 前記屈折レンズは、両面が凸の非球面であることを特徴とする請求項2に記載の光ヘッド用対物レンズ。

【請求項4】 前記回折レンズ構造による光路長の付加量を、光軸からの高さ $h$ 、 $n$ 次(偶数次)の光路差関数係数 $P_n$ 、波長 $\lambda$ を用いて、

$$\phi(h) = (P_2 h^2 + P_4 h^4 + P_6 h^6 + \dots) \times \lambda$$

により定義される光路差関数 $\phi(h)$ により表したとき、4次の光路差関数係数 $P_4$ 、有効径の最大高さ $h_{\max}$ 、屈折レンズと回折レンズ構造とを合わせた全体の焦点距離 $f$ 、開口数 $NA$ が、

$$-75.0 < P4 \times (h_{\max})^4 / (f \times NA^4) < -25.0 \quad \dots(1)$$

【従来の技術】軽量化、小型化が要求される光情報記録再生装置の光ヘッドには、一般に樹脂製の両面非球面レンズが利用される。ただし、樹脂レンズはガラスレンズと比較して温度変化による屈折率変化や形状変化が大きいため、それによる性能変化が問題となり易い。例えば、温度が上昇すると、樹脂レンズの屈折率は低下するため、これに伴って球面収差が補正過剰となる方向に変化し、波面収差が劣化する。樹脂レンズの温度変化に対する屈折率の変化率は、ほぼ $-10 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$ である。

【0003】図27は、焦点距離3.0mm、使用波長650nmの樹脂製レンズについて、温度が40度上昇した際、すなわち屈折率が $-400 \times 10^{-5}$ 変化した際の波面収差(単位： $\lambda$ (波長))の変化量を $NA$ をパラメータとして示したグラフである。このグラフから、温度変化による波面収差の変化は、ほぼ $NA$ の4乗に比例することがわかる。

【0004】一般に、コンパクトディスク装置用の対物レンズは、 $NA$ が0.45程度であり、波面収差の許容範囲の上限が0.04 $\lambda$ 程度であるため、90度程度の温度変化があっても波面収差は許容範囲内となり、温度変化による波面収差の劣化は実用上は問題とならなかった。

## 【0005】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、DVD装置用の対物レンズは $NA$ が0.60、MO装置用の対物レンズは $NA$ が0.65程度であり、波面収差の許容範囲の上限が0.03 $\lambda$ 程度であるため、40度～50度程度の温度変化があると波面収差が許容範囲の上限を越えてしまい、情報の記録、再生に支障をきたす可能性がある。

【0006】この発明は、上述した従来技術の問題点を鑑みてなされたものであり、温度変化による波面収差の変化を小さく抑え、DVD装置用、あるいはMO装置用の高 $NA$ の対物レンズとして利用する場合にも、利用可能な温度範囲を広げることができる光ヘッド用対物レンズを提供することを課題(目的)とする。

## 【0007】

【課題を解決するための手段】この発明にかかる光ヘッド用対物レンズは、上記の目的を達成させるため、正のパワーを持つ屈折レンズの一面に回折レンズ構造を形成し、この回折レンズ構造に、入射光の波長が長波長側にシフトした際に、球面収差が補正不足となる方向に変化するような球面収差特性を持たせたことを特徴とする。前述のように、屈折レンズの球面収差は温度上昇により補正過剰となる方向に変化する。一方、光ヘッドの光源として一般に用いられる半導体レーザーは、温度上昇により発振波長が長波長側にシフトする特性を有する。そこで、上記のように回折レンズ構造に波長の長波長側へのシフトにより球面収差が補正不足となる方向に変化するような特性を持たせれば、温度上昇により補正過剰となる屈折レンズの球面収差の変化を、温度上昇による半導体レーザーの長波長側への波長シフトにより補正不足となる回折レンズ構造の球面収差の変化により打ち消す

$$-75.0 < P4 \times (h_{\max})^4 / (f \times NA^4) < -25.0 \quad \cdots(1)$$

の条件を満たすことが望ましい。

【0010】また、屈折レンズと回折レンズ構造との作用を合わせた場合、入射光の波長が長波長側にシフトした際に、バックフォーカスが延びる方向に変化するような軸上色収差特性を有し、波長の変化に対するマージナル光線の球面収差の変化量を $\Delta SA$ 、軸上色収差の変化量を $\Delta CA$ として、

$$-1 < \Delta CA / \Delta SA < 0 \quad \cdots(2)$$

の条件を満たすことが望ましい。より望ましくは、以下の条件(2')を満たすことよい。

$$-0.7 < \Delta CA / \Delta SA < -0.5 \quad \cdots(2')$$

【0011】さらに、この発明の対物レンズは、2次の光路差関数係数 $P2$ 、波長 $\lambda$ を用いて $fD = 1 / (-P2 \times 2\lambda)$ により定義される回折レンズ構造のみの焦点距離 $fD$ と、屈折レンズと回折レンズ構造とを合わせた全体の焦点距離 $f$ との関係が、

$$40.0 < fD / f < 140.0 \quad \cdots(3)$$

の条件を満たすことが望ましい。

【0012】

【発明の実施の形態】以下、この発明にかかる光ヘッド用対物レンズの実施形態を説明する。図1は、実施形態にかかる対物レンズ10を示す説明図であり、(A)は正面図、(B)は側面図、(C)は側面の一部拡大図である。この対物レンズ10は、DVD装置、あるいはMO装置等の光情報記録再生装置の光ヘッドに適用され、光源である半導体レーザーから発したレーザー光をディスク等の媒体上に収束させる機能を有している。

【0013】対物レンズ10は、非球面である2つのレンズ面11、12を有する両凸の樹脂製単レンズであり、一方のレンズ面11に図1(A)に示したように光軸を中心とした輪帯状のパターンとして回折レンズ構造が形成されている。回折レンズ構造は、フレネルレンズのように各輪帯の境界に光軸方向の段差を持つ。

ことができる。

【0008】屈折レンズとしては、軽量化、低コスト化、および回折レンズ構造の転写の容易性を考慮すると、樹脂により形成されることが望ましい。また、樹脂レンズによる場合、高NA化のためには両面が非球面の両凸レンズを用いることが望ましい。ところで、回折レンズ構造による光路長の付加量は、光軸からの高さ $h$ 、 $n$ 次(偶数次)の光路差関数係数 $Pn$ 、波長 $\lambda$ を用いて、 $\phi(h) = (P2h^2 + P4h^4 + P6h^6 + \cdots) \times \lambda$ により定義される光路差関数 $\phi(h)$ により表すことができる。

【0009】ここで、発明の対物レンズは、4次の光路差関数係数 $P4$ 、有効径の最大高さ $h_{\max}$ 、屈折レンズと回折レンズ構造とを合わせた全体の焦点距離 $f$ 、開口数NAが、

【0014】この回折レンズ構造は、入射光の波長が長波長側にシフトした際に、球面収差が補正不足となる方向に変化するような球面収差特性を有している。屈折レンズの球面収差は、温度上昇により補正過剰となる方向に変化する。一方、光源として用いられる半導体レーザーの温度変化による波長シフトは、約 $0.2 \text{ nm}/^\circ\text{C}$ であり、例えば温度が $40^\circ\text{C}$ 上昇した場合には $8 \text{ nm}$ 波長が長波長側にシフトする。

【0015】そこで、上記のように回折レンズ構造に波長の長波長側へのシフトにより球面収差が補正不足となる方向に変化するような特性を持たせることにより、温度上昇により補正過剰となる屈折レンズの球面収差の変化を、温度上昇による長波長側への波長シフトにより補正不足となる回折レンズ構造の球面収差の変化により打ち消すことができる。

【0016】回折レンズ構造による光路長の付加量は、光軸からの高さ $h$ 、 $n$ 次(偶数次)の光路差関数係数 $Pn$ 、波長 $\lambda$ を用いて、

$$\phi(h) = (P2h^2 + P4h^4 + P6h^6 + \cdots) \times \lambda$$

により定義される光路差関数 $\phi(h)$ により表すことができる。 $P2$ 、 $P4$ 、 $P6$ 、…はそれぞれ2次、4次、6次、…の係数である。この表現形式では2次の項の係数 $P2$ が負の時に近軸的に正のパワーを持ち、4次の項の係数 $P4$ が正の時に周辺に向かって負のパワーが漸増することとなる。

【0017】実際のレンズの微細形状は光路長の波長の整数倍の成分を消去したフレネルレンズ状の光路長付加量 $\phi'$ を持つように決定する。

$$\phi'(h) = (\text{MOD}(P2h^2 + P4h^4 + P6h^6 + \cdots + \text{Const}, 1) - \text{Const}) \times \lambda$$

定数項 $\text{Const}$ は輪帯の境界位置の位相を設定する定数であり、 $0 \leq \text{Const} \leq 1$ の範囲で任意の数をとる。 $\text{MOD}$

(X, Y)はXをYで割った剰余を与える関数である。 $\text{MOD}$

$(P2h^2 + P4h^4 + \dots + \text{Const}, 1)$  の値が0になるhの点が輪帯の境になる。ベース形状の上に、 $\phi'(h)$ の光路差を持つように、勾配、段差を設定する。

【0018】ここで、実施形態の対物レンズ10は、4

$$-7.5, 0 < P4 \times (h_{\max})^4 / (f \times NA^4) < -2.5, 0 \dots (1)$$

の条件を満たすよう設計されている。

【0019】この条件を満たす場合には、屈折レンズの屈折率変化による球面収差の変化を、回折レンズの波長変動による球面収差の変化により良好に打ち消すことができる。条件(1)の下限を下回る場合には、波長シフトによる球面収差の変化が過剰となる。半導体レーザーの発振波長には $\pm 10 \text{ nm}$ 程度の個体差があるため、波長シフトによる球面収差の変化が過剰であると、基準となる波長からずれた半導体レーザーを用いることができず、半導体レーザーの選別が必要になる。したがって、回折レンズ構造の波長シフトによる球面収差補正効果は、若干不足する程度が好ましい。

【0020】また、条件(1)の上限を越える場合には、波長シフトによる球面収差の変化が過小となり、屈折率変化による球面収差の変化を十分に打ち消すことができなくなる。なお、半導体レーザーの温度変化による波長シフト(約 $0.2 \text{ nm}/^\circ\text{C}$ )により回折レンズ構造に適度な球面収差を発生させるためには、条件(1)の値は $-5.5$ 程度が最も好ましい。

【0021】ところで、半導体レーザーの発振波長の変化には、上述したような温度変化に起因した緩やかな変化と、例えばMO装置における書き込み動作時のレーザー出力の変化等に伴う急激な変化とがある。前者に対しては、上記のように球面収差を打ち消し合わせて波面収差の劣化を抑えさえすれば、焦点位置の移動は光ヘッドに設けられた焦点調節機構を用いて補正できるために考慮する必要性は少ない。これに対して、後者の場合には、焦点調節機構を用いても完全には対応することができず、したがって、対物レンズの側で波長変動による焦点位置の変化を抑えることが望ましい。

【0022】なお、後者の波長シフトに対しては、一般的には色収差を補正することにより対処が可能であるが、実施形態の対物レンズは上記のように波長のシフトにより球面収差を故意に発生させて波面収差の劣化を防いでいるため、軸上色収差が完全に補正されていると、かえって波長シフトによる最適書き込み位置の変化が大きくなってしまふ。そこで、色収差の補正と温度変化に対する特性との間でバランスをとる必要がある。

【0023】このため、実施形態では、屈折レンズと回折レンズ構造との作用を合わせた場合、入射光の波長が長波長側にシフトした際に、バックフォーカスが延びる方向に変化するような軸上色収差特性を有し、波長の変化に対するマージナル光線の球面収差の変化量を $\Delta SA$ 、軸上色収差の変化量を $\Delta CA$ として、

$$-1 < \Delta CA / \Delta SA < 0 \dots (2)$$

次の光路差関数係数 $P4$ 、有効径の最大高さ $h_{\max}$ 、屈折レンズと回折レンズ構造とを合わせた全体の焦点距離 $f$ 、開口数 $NA$ が、

の条件を満たすよう設計されている。

【0024】条件(2)は、例えば波長が長波長側にシフトして近軸焦点が波長変化前よりレンズから遠ざかる位置に移動した際に、マージナル光線による焦点が波長変化前よりレンズに近づいた位置に移動することを意味している。変化前の波長で球面収差がほぼ補正されていると想定すると、変化前の波長での近軸焦点の位置を基準として、変化後の波長での近軸焦点はレンズから離れた位置、変化後の波長でのマージナル光線による焦点はレンズに近い位置にそれぞれ位置することになる。したがって、近軸焦点からマージナル光線による焦点までを平均した最適書き込み位置の変化は比較的小さく抑えられる。なお、回折レンズ構造の輪帯数を少なく抑えて光量の損失を抑えるためには、上記の条件(2)の上限を $-0.5$ とし、かつ、光ヘッドに入射するレーザー光が光軸上から周辺に向けて光量が減少するような光量分布を有することを考慮して下限を $-0.7$ として、以下の条件(2')を満たすよう設計すると、より好ましい。

$$-0.7 < \Delta CA / \Delta SA < -0.5 \dots (2')$$

【0025】さらに、急激な波長シフトによる最適書き込み位置の移動量を小さく抑えるためには、2次の光路差関数係数 $P2$ 、波長 $\lambda$ を用いて $fD = 1 / (-P2 \times 2\lambda)$ により定義される回折レンズ構造のみの焦点距離 $fD$ と、屈折レンズと回折レンズ構造とを合わせた全体の焦点距離 $f$ との関係が、

$$40.0 < fD / f < 140.0 \dots (3)$$

の条件を満たすことが望ましい。

【0026】条件(3)は、軸上色収差の発生の度合いを規定する。分散に関して回折レンズは負のアッベ数を持つ屈折レンズと等価であるため、正の回折レンズを正の屈折レンズと組み合わせることにより、色収差を補正することができる。条件(3)を満たすことにより、回折レンズ構造による球面収差補正効果とのバランスをとりつつ、波長の急激なシフトによる最適書き込み位置の変化を小さく抑えることができる。

【0027】

【実施例】次に、上述した実施形態に基づく具体的な実施例を8例提示する。実施例1～4は保護層の厚さが $0.6 \text{ mm}$ のディスクを利用するDVD装置の光ヘッド、実施例5～8は保護層の厚さが $1.2 \text{ mm}$ のディスクを利用するMO装置の光ヘッドに適用される対物レンズである。なお、以下に説明する実施例では、いずれも第1面に回折レンズ構造が形成されている。

【0028】

【実施例1】図2は、実施例1にかかる対物レンズ10

と媒体であるディスクの保護層Dとを示す。実施例1の対物レンズの具体的な数値構成は表1に示されている。面番号1、2が対物レンズ10、面番号3、4が媒体であるディスクの保護層を示している。表中、NAは開口数、fは全体の焦点距離(単位:mm)、fDは回折レンズ構造の焦点距離(単位:mm)、 $\omega$ は半面角(単位:degree)、 $\lambda$ は使用波長(単位:nm)、 $h_{max}$ は有効径の最大高さ(単位:mm)、rはレンズ各面の巨視的な曲率半径(単位:mm)、dはレンズ厚またはレンズ間隔(単位:mm)、 $n_{\lambda}$ は各レンズの波長 $\lambda_{nm}$ での屈折率、 $\nu$ は各レンズのアッベ数である。

【0029】また、対物レンズ10の第1面11のベース面(回折レンズ構造を除く屈折レンズとしての形状)および第2面12は非球面であり、その形状は光軸からの高さがhとなる非球面上の座標点の非球面の光軸上での

NA 0.6	f=3.00mm	fD=155.49mm	$\omega=1.1^\circ$	$\lambda=650nm$	$h_{max}=1.8mm$
面番号	r	d	$n_{650}$	$\nu$	
1	1.954	2.287	1.54082	55.6	
2	-6.293	1.372			
3	$\infty$	0.600	1.58030	29.9	
4	$\infty$				

【0031】

【表2】

	第1面	第2面
K	-0.4430	0.0000
A4	-0.3990E-2	0.2690E-1
A5	0.4400E-4	-0.9344E-2
A8	-0.1920E-3	0.1405E-2
A10	0.2120E-4	-0.5700E-4
A12	-0.1381E-4	0.0000
P2	-4.9473	
P4	-2.1749	
P6	1.5476E-1	
P8	4.2348E-2	
P10	-1.4462E-2	

【0032】図3は実施例1の対物レンズの諸収差を示す。図3(A)は波長650nmにおける球面収差SAおよび正弦条件SC、(B)は650nm、642nm、658nmの各波長の球面収差で表される色収差、(C)は非点収差(S:サジタル、M:メリディオナル)を示している。グラフ(A)、(B)の縦軸は開口数NA、(C)の縦軸は像高Yである。また、横軸は各収差の発生量を示し、単位はmmである。さらに、図4は、レンズを構成する樹脂の屈折率が0.004低くなった場合の図3と同様の収差を示す。この屈折率の変化は、温度が40℃上昇した場合の変化に対応している。

【0033】図3、4を比較すると、屈折率の低下(温度上昇)により球面収差がオーバー側、すなわち補正過剰側に变化することが理解できる。次に、図3(B)に着目すると、基準波長である650nmから波長が長波長側に

接平面からの距離(サグ量)をX、非球面の光軸上での曲率(1/r)をC、円錐係数をK、4次、6次、8次、10次、12次の非球面係数をA4、A6、A8、A10、A12として、以下の式で表される。

$$X = C h^2 / (1 + \sqrt{1 - (1 + K) C^2 h^2}) + A4 h^4 + A6 h^6 + A8 h^8 + \dots$$

なお、表1における非球面の曲率半径は光軸上の曲率半径である。非球面を規定する円錐係数と非球面係数、そして回折レンズ構造を規定する光路差関数係数は、表2に示される。なお、表2における表記Eは、10を基数、Eの右の数字を指数とする累乗を表しており、例えば表2に示される第1面の4次の非球面係数A4の値「-0.3990E-2」は「-0.003990」を意味する。

【0030】

【表1】

8nmシフトして658nmとなると、回折レンズ構造の作用により球面収差は補正不足となる方向、すなわちアンダー側に変化することが理解できる。+8nmのシフトは、温度が40℃上昇した際の半導体レーザーの波長シフトに対応している。したがって、この対物レンズの40℃温度が変化した場合の球面収差は、図4(B)の658nmのグラフにより表される。このように、温度が変化した場合、屈折率変化によるオーバー側への球面収差の変化と波長変化によるアンダー側への球面収差の変化とを打ち消し合わせることができると、波面収差の劣化が小さく抑えられる。なお、上記の変化により最適書き込み位置はバックフォーカスが延びる方向に移動するが、この移動については光ヘッドの焦点調節機構により対応することができ。

【0034】また、軸上色収差の変化量 $\Delta CA$ は、図3(B)の650nm、658nmのグラフの下端の移動幅で示され、移動方向は入射光の長波長側へのシフトにより、バックフォーカスが延びる方向となる。なお、マージナル光線の球面収差の変化量 $\Delta SA$ は、650nmのグラフをその下端が658nmのグラフの下端に重なる位置まで平行移動させた際のグラフの上端と、658nmのグラフの上端との幅により示される。そして、これらが前記の条件(2)を満たすことにより、波長変化後(658nm)にグラフが変化前の近軸焦点を基準とする縦軸と交差することとなり、波長シフトによる最適書き込み位置の変化が比較的小さく抑えられる。

【0035】

【実施例2】図5は、実施例2にかかる対物レンズを示す。実施例2の具体的な数値構成は表3に示されてい

る。第1面、第2面の円錐係数、非球面係数、第1面に形成された回折レンズ構造を表す光路差関数係数は表4に示される。図6は実施例2の対物レンズの諸収差、図7は樹脂の屈折率が0.004低くなった場合の諸収差

を示す。

【0036】

【表3】

NA 0.6	f=3.00mm	fD=176.75mm	$\omega=1.1^\circ$	$\lambda=650\text{nm}$	$h_{\text{max}}=1.8\text{mm}$
面番号	r	d	n650	$\nu$	
1	1.950	2.283	1.54082	55.6	
2	-6.239	1.372			
3	$\infty$	0.600	1.58030	29.9	
4	$\infty$				

【0037】

【表4】

	第1面	第2面
K	-0.4440	0.0000
A4	-0.3600E-2	0.2696E-1
A5	0.4300E-4	-0.9482E-2
A6	-0.1950E-3	0.1446E-2
A10	0.2045E-4	-0.6128E-4
A12	-0.1230E-4	0.0000
P2	-4.3520	
P4	-2.9161	
P6	1.7724E-1	
P8	2.9988E-2	
P10	-1.4188E-2	

第1面、第2面の円錐係数、非球面係数、第1面に形成された回折レンズ構造を表す光路差関数係数は表6に示される。図9は実施例3の対物レンズの諸収差、図10は樹脂の屈折率が0.004低くなった場合の諸収差を示す。実施例3の対物レンズは、表6の係数P2が0であり、回折レンズ構造が近軸でパワーを持たず、軸上色収差は補正されていない。書き込み動作を行わないDVD装置用の読み出し用の対物レンズでは、波長の急激な変化に対応する必要がないため、軸上色収差を補正しないことにより回折レンズ構造の輪帯数を少なくすることができる。輪帯数が少なければ、回折レンズ構造の段差部分による不要回折光の発生が少なくなり、回折効率の低下を防ぐことができる。

【0039】

【表5】

【0038】

【実施例3】図8は、実施例3にかかる対物レンズを示す。実施例の具体的な数値構成は表5に示されている。

NA 0.6	f=3.00mm	fD= $\infty$	$\omega=1.1^\circ$	$\lambda=635\text{nm}$	$h_{\text{max}}=1.8\text{mm}$
面番号	r	d	n635	$\nu$	
1	1.939	2.404	1.54142	55.6	
2	-5.649	1.372			
3	$\infty$	0.600	1.58139	29.9	
4	$\infty$				

【0040】

【表6】

	第1面	第2面
K	-0.4400	0.0000
A4	-0.2690E-2	0.3000E-1
A5	-0.6470E-3	-0.1053E-1
A6	-0.8470E-4	0.1587E-2
A10	0.1870E-4	-0.6427E-4
A12	-0.1203E-4	0.0000
P2	0.0000	
P4	-1.1941	
P6	-3.9226E-1	
P8	2.6513E-2	
P10	-1.1890E-2	

【実施例4】図11は、実施例4にかかる対物レンズを示す。実施例4の具体的な数値構成は表7に示されている。第1面、第2面の円錐係数、非球面係数、第1面に形成された回折レンズ構造を表す光路差関数係数は表8に示される。図12は実施例4の対物レンズの諸収差、図13は樹脂の屈折率が0.004低くなった場合の諸収差を示す。

【0042】

【表7】

【0041】

NA 0.6	f=3.00mm	fD=176.84mm	$\omega=1.1^\circ$	$\lambda=635\text{nm}$	$h_{\text{max}}=1.8\text{mm}$
面番号	r	d	n635	$\nu$	

11

12

1	1.951	2.280	1.54142	55.6
2	-6.271	1.372		
3	$\infty$	0.600	1.58139	29.9
4	$\infty$			

【 0 0 4 3 】

【 表 8 】

	第 1 面	第 2 面
K	-0.4450	0.0000
A4	-0.3600E-2	0.2682E-1
A5	0.4750E-4	-0.9450E-2
A8	-0.1938E-3	0.1453E-2
A10	0.2035E-4	-0.6590E-4
A12	-0.1230E-4	0.0000
P2	-4.4525	
P4	-2.3918	
P6	1.8916E-1	
P8	4.1327E-2	
P10	-1.4564E-2	

【実施例 5】図 1 4 は、実施例 5 にかかる対物レンズを示す。実施例 5 の具体的な数値構成は表 9 に示されている。第 1 面、第 2 面の円錐係数、非球面係数、第 1 面に形成された回折レンズ構造を表す光路差関数係数は表 10 に示される。図 1 5 は実施例 5 の対物レンズの諸収差、図 1 6 は樹脂の屈折率が 0.004 低くなった場合の諸収差を示す。

【 0 0 4 5 】

【 表 9 】

【 0 0 4 4 】

NA	0.55	f=3.00mm	fD=303.52mm	$\omega=1.1^\circ$	$\lambda=680nm$	hmax=1.65mm
面番号	r	d	n680	$\nu$		
1	1.976	1.909	1.53972	55.6		
2	-6.234	1.211				
3	$\infty$	1.200	1.57834	29.9		
4	$\infty$					

【 0 0 4 6 】

【 表 1 0 】

	第 1 面	第 2 面
K	-0.4440	0.0000
A4	-0.3600E-2	0.2153E-1
A5	-0.4200E-5	-0.7695E-2
A8	-0.1450E-3	0.1368E-2
A10	-0.1120E-4	-0.1036E-3
A12	-0.8440E-5	0.0000
P2	-2.4225	
P4	-2.5348	
P6	2.7193E-1	
P8	4.6383E-2	
P10	-8.6872E-3	

【実施例 6】図 1 7 は、実施例 6 にかかる対物レンズを示す。実施例 6 の具体的な数値構成は表 1 1 に示されている。第 1 面、第 2 面の円錐係数、非球面係数、第 1 面に形成された回折レンズ構造を表す光路差関数係数は表 1 2 に示される。図 1 8 は実施例 6 の対物レンズの諸収差、図 1 9 は樹脂の屈折率が 0.004 低くなった場合の諸収差を示す。

【 0 0 4 8 】

【 表 1 1 】

【 0 0 4 7 】

NA	0.55	f=3.00mm	fD=303.53mm	$\omega=1.1^\circ$	$\lambda=680nm$	hmax=1.65mm
面番号	r	d	n680	$\nu$		
1	1.976	1.909	1.53972	55.6		
2	-6.234	1.211				
3	$\infty$	1.200	1.57834	29.9		
4	$\infty$					

【 0 0 4 9 】

【 表 1 2 】

13

	第1面	第2面
K	-0.4440	0.0000
A4	-0.2980E-2	0.2153E-1
A5	-0.5490E-3	-0.7695E-2
A8	-0.3260E-4	0.1368E-2
A10	-0.6550E-4	-0.1036E-3
A12	-0.4220E-5	0.0000
P2	-2.4225	
P4	-2.0000	
P5	-1.2000E-1	
P8	4.6000E-2	
P10	-1.8000E-2	

【0050】

NA 0.55 f=3.00mm fD=272.33mm  $\omega=1.1^\circ$   $\lambda=680\text{nm}$  hmax=1.65mm

面番号	r	d	n680	$\nu$
1	1.976	1.909	1.53972	55.6
2	-6.234	1.211		
3	$\infty$	1.200	1.57834	29.9
4	$\infty$			

【0052】

【表14】

	第1面	第2面
K	-0.4440	0.0000
A4	-0.2470E-2	0.2153E-1
A5	-0.4280E-3	-0.7695E-2
A8	-0.5420E-4	0.1368E-2
A10	-0.4440E-4	-0.1036E-3
A12	-0.6100E-5	0.0000
P2	-2.7000	
P4	-1.8300	
P5	-1.0000E-1	
P8	2.8000E-2	
P10	-1.4000E-2	

【0053】

NA 0.55 f=3.00mm fD=200.00mm  $\omega=1.1^\circ$   $\lambda=680\text{nm}$  hmax=1.65mm

面番号	r	d	n680	$\nu$
1	1.971	1.830	1.53972	55.6
2	-6.621	1.245		
3	$\infty$	1.200	1.57834	29.9
4	$\infty$			

【0055】

【表16】

14

【実施例7】図20は、実施例7にかかる対物レンズを示す。実施例7の具体的な数値構成は表13に示されている。第1面、第2面の円錐係数、非球面係数、第1面に形成された回折レンズ構造を表す光路差関数係数は表14に示される。図21は実施例7の対物レンズの諸収差、図22は樹脂の屈折率が0.004低くなった場合の諸収差を示す。

【0051】

【表13】

20 【実施例8】図23は、実施例8にかかる対物レンズを示す。実施例8の具体的な数値構成は表15に示されている。第1面、第2面の円錐係数、非球面係数、第1面に形成された回折レンズ構造を表す光路差関数係数は表16に示される。図24は実施例8の対物レンズの諸収差、図25は樹脂の屈折率が0.004低くなった場合の諸収差を示す。

【0054】

【表15】



第1面	第2面
K -0.3400	0.0000
A4 -0.4480E-2	0.1820E-1
A5 -0.4100E-3	-0.4057E-2
A8 -0.1110E-3	0.1318E-3
A10 0.3100E-5	0.3965E-4
A18 -0.1580E-4	0.0000
P2 -3.8765	
P4 -1.8567	
P6 1.8186E-2	
P8 3.3507E-2	
P10 -1.1474E-2	

【0056】以下の表17は、前述した各条件(1)、(2)、(3)と各実施例との対応を示す。条件(1)については全ての実施例が満たしており、これにより温度変化による波面収差の劣化を有効に防ぐことができる。また、条件(2)についても全ての実施例が満たしており、波長の急激なシフトによる最適書き込み位置の変化を抑えることができる。さらに、条件(3)については、実施例3を除く他の実施例が満たしており、これにより波長シフトによる軸上色収差と球面収差の変化とのバランスをとり最適書き込み位置の変化をより小さく抑えることができる。

【0057】

【表17】

	条件(1)	条件(2)	条件(3)
実施例1	-59.79	-0.5	51.89
実施例2	-62.59	-0.5	58.82
実施例3	-32.24	-0.8	-
実施例4	-64.58	-0.8	58.95
実施例5	-68.48	-0.7	101.17
実施例6	-54.00	-0.4	101.18
実施例7	-49.20	-0.5	90.78
実施例8	-44.79	-0.8	66.67

【0058】図26は、実施例5の対物レンズを例として温度変化と波面収差の劣化との関係を示したグラフである。基準波長 $\lambda$ を680nmとし、半導体レーザーの個体差を考慮して、670nm、675nm、680nm、685nm、690nmの5つの波長によるデータを記載した。細かい破線で示した比較例は、実施形態と同様に屈折レンズの一面に回折レンズ構造を付した対物レンズであるが、回折レンズ構造に軸上色収差の補正機能と、球面収差の波長変化を抑えるような特性を持たせてあり、本発明のような球面収差の波長依存特性を持たせてない。これらのグラフを比較すると、25℃を基準として±60℃の範囲において、比較例では波面収差が0.035 $\lambda$ を越えるのに対し、実施例5では、ほぼ0.020 $\lambda$ を下回る基準にあり、許容範囲が厳しいDVD装置用、あるいはMO装置用の光ヘッドの対物レンズとしても十分な性能を有していることがわかる。

【0059】

【発明の効果】以上説明したように、この発明によれば、温度上昇により補正過剰となる屈折レンズの球面収差の変化を、温度上昇による半導体レーザーの長波長側への波長シフトにより補正不足となる回折レンズ構造の球面収差の変化により打ち消すことができ、温度変化による波面収差の劣化が少ない対物レンズを提供することができる。したがって、この発明をDVD装置用、MO装置用の高NAの対物レンズに適用した場合には、装置の利用可能な温度範囲を広げることができる。

【0060】請求項2のように屈折レンズを樹脂レンズとした場合には、軽量化、低コスト化が可能になると共に、回折レンズ構造の転写が容易となる。また、屈折レンズを樹脂レンズとする場合には、請求項3のように屈折レンズの両面を凸の非球面とすることにより、高NAの対物レンズに適用した場合にも収差の少ない良好な性能の対物レンズを提供することができる。

【0061】請求項4のように回折レンズ構造が条件(1)を満たすよう設計されている場合には、屈折レンズの屈折率変化による球面収差の変化を、回折レンズの波長変動による球面収差の変化により良好に打ち消すことができ、温度変化による波面収差の劣化を効果的に抑えることができる。

【0062】また、請求項5のように回折レンズ構造が条件(2)を満たすよう設計されている場合には、レーザーの波長が急激に変化した場合にも、近軸焦点からマージナル光線による焦点までを平均した最適書き込み位置の変化を比較的小さく抑えることができる。請求項6のように、より制限的な条件(2')を満たす場合には、回折レンズ構造の輪帯数を少なく抑えて光量の損失を抑え、光ヘッドに入射するレーザー光の光量分布に適合した良好な性能を得ることができる。

【0063】さらに、請求項7のように回折レンズ構造のパワーと全体のパワーとが条件(3)を満たすように設定されている場合には、回折レンズ構造による球面収差補正効果とのバランスをとりつつ、波長の急激なシフトによる最適書き込み位置の変化を小さく抑えることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 実施形態にかかる対物レンズの外形を示す説明図であり、(A)は正面図、(B)は側面図、(C)は側面図の一部拡大図である。

【図2】 実施例1の対物レンズのレンズ図である。

【図3】 実施例1の対物レンズの諸収差図である。

【図4】 実施例1の対物レンズの樹脂の屈折率が0.004低くなった場合の諸収差図である。

【図5】 実施例2の対物レンズのレンズ図である。

【図6】 実施例2の対物レンズの諸収差図である。

【図7】 実施例2の対物レンズの樹脂の屈折率が0.004低くなった場合の諸収差図である。

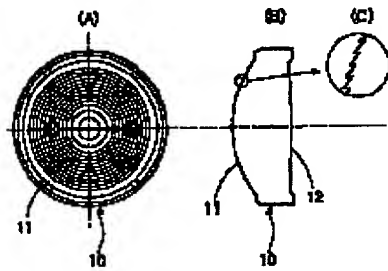
- 【図 8】 実施例 3 の対物レンズのレンズ図である。  
 【図 9】 実施例 3 の対物レンズの諸収差図である。  
 【図 10】 実施例 3 の対物レンズの樹脂の屈折率が  
 0.004 低くなった場合の諸収差図である。  
 【図 11】 実施例 4 の対物レンズのレンズ図である。  
 【図 12】 実施例 4 の対物レンズの諸収差図である。  
 【図 13】 実施例 4 の対物レンズの樹脂の屈折率が  
 0.004 低くなった場合の諸収差図である。  
 【図 14】 実施例 5 の対物レンズのレンズ図である。  
 【図 15】 実施例 5 の対物レンズの諸収差図である。  
 【図 16】 実施例 5 の対物レンズの樹脂の屈折率が  
 0.004 低くなった場合の諸収差図である。  
 【図 17】 実施例 6 の対物レンズのレンズ図である。  
 【図 18】 実施例 6 の対物レンズの諸収差図である。  
 【図 19】 実施例 6 の対物レンズの樹脂の屈折率が  
 0.004 低くなった場合の諸収差図である。  
 【図 20】 実施例 7 の対物レンズのレンズ図である。  
 【図 21】 実施例 7 の対物レンズの諸収差図である。

- 【図 22】 実施例 7 の対物レンズの樹脂の屈折率が  
 0.004 低くなった場合の諸収差図である。  
 【図 23】 実施例 8 の対物レンズのレンズ図である。  
 【図 24】 実施例 8 の対物レンズの諸収差図である。  
 【図 25】 実施例 8 の対物レンズの樹脂の屈折率が  
 0.004 低くなった場合の諸収差図である。  
 【図 26】 実施例 5 の対物レンズの温度変化と波面収  
 差の劣化との関係を示したグラフである。  
 【図 27】 焦点距離 3.0 mm、使用波長 650 nm  
 の樹脂製レンズについて、温度が 40 度上昇した際の波  
 面収差 (単位:  $\lambda$  (波長)) の変化量を NA をパラメータと  
 して示したグラフである。

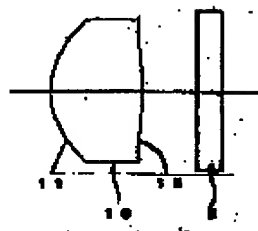
## 【符号の説明】

- 10 対物レンズ  
 11 第 1 面 (回折レンズ構造)  
 12 第 2 面  
 D ディスク保護層

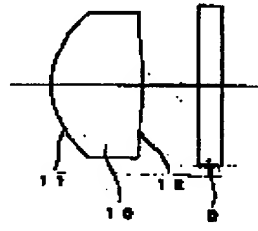
【図 1】



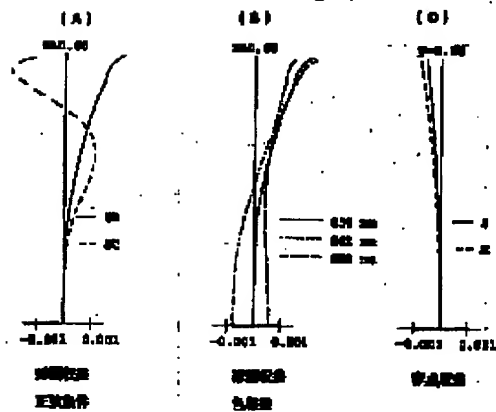
【図 2】



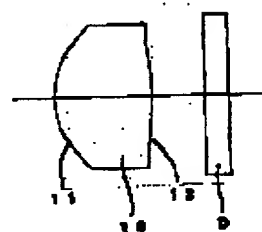
【図 5】



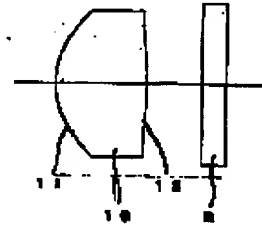
【図 7】



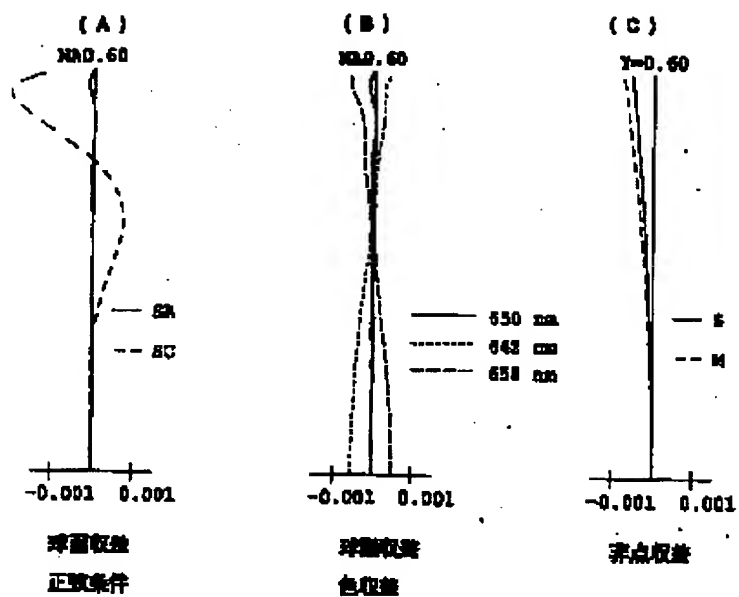
【図 8】



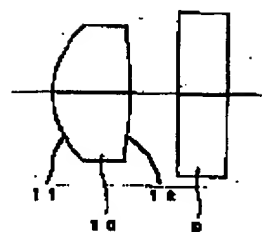
【図 11】



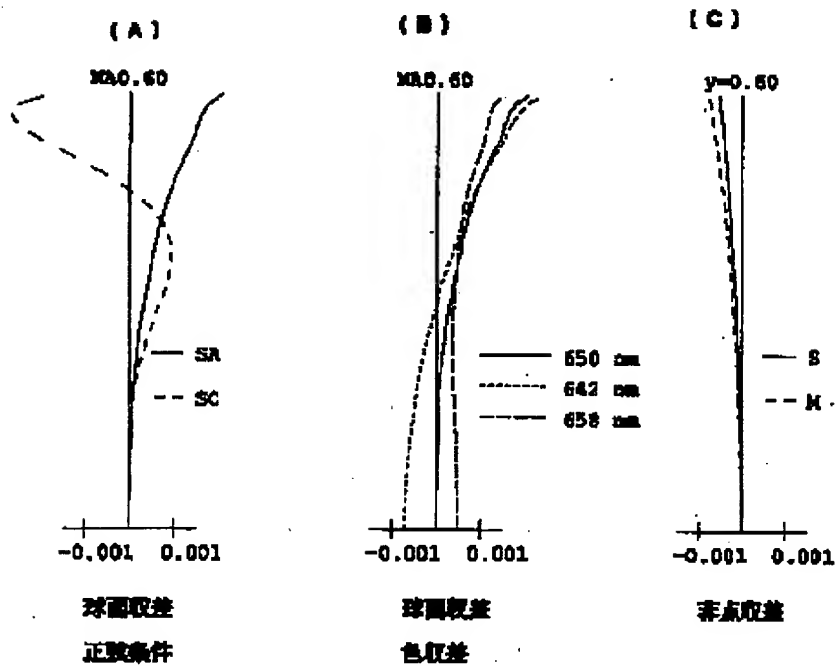
【図 3】



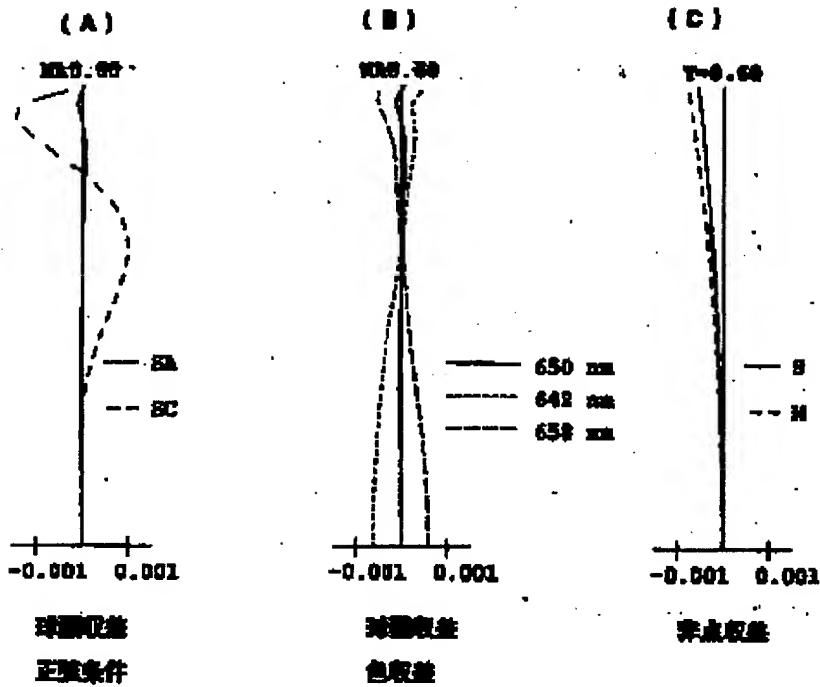
【図 14】



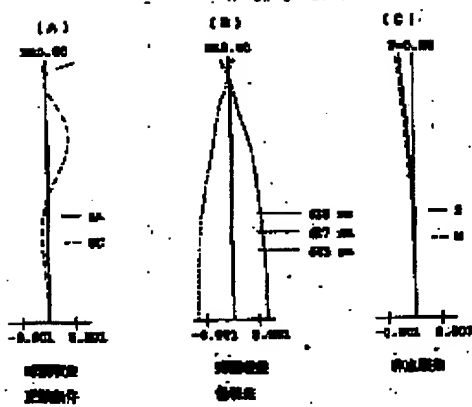
【図 4】



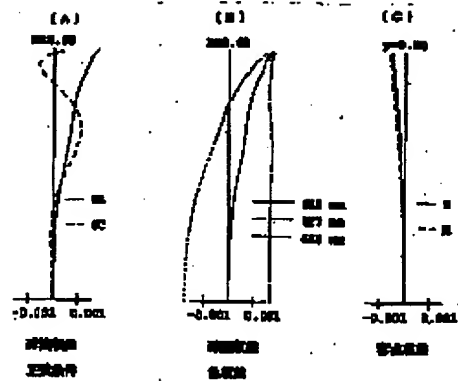
【図6】



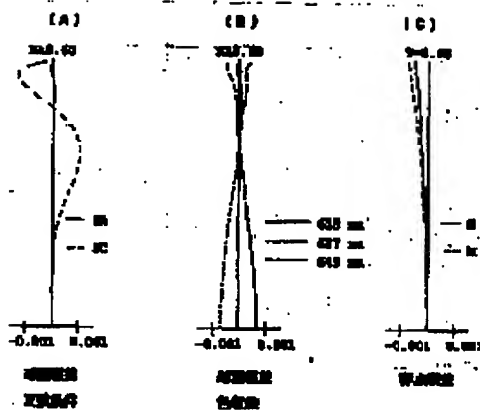
【図9】



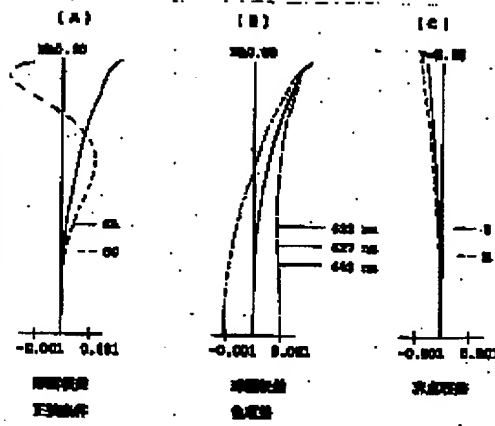
【図10】



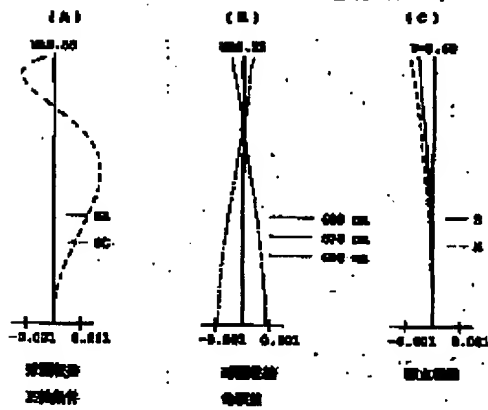
【図 12】



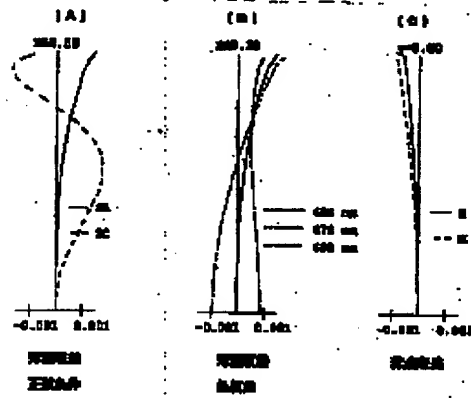
【図 13】



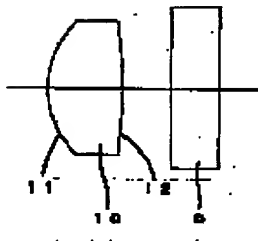
【図 15】



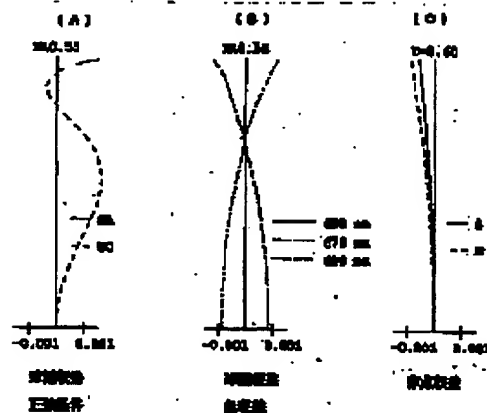
【図 16】



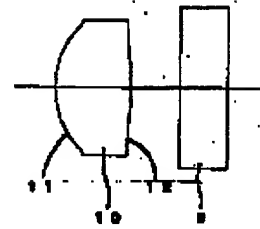
【図 17】



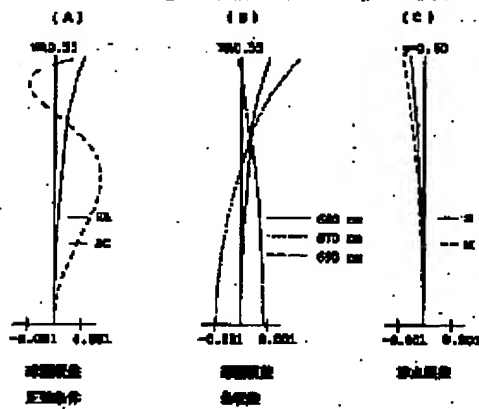
【図 18】



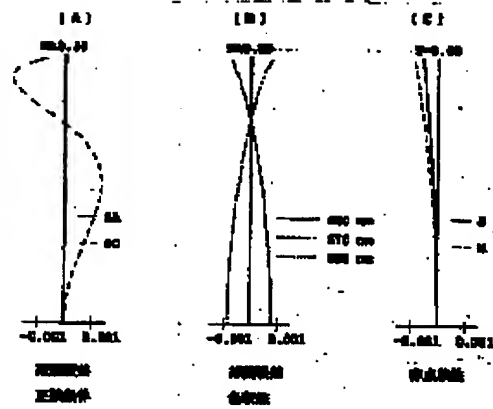
【図 20】



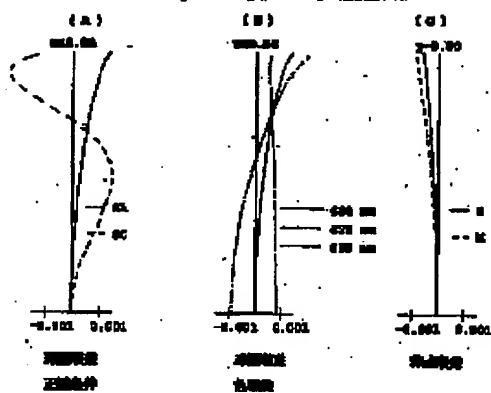
【図 19】



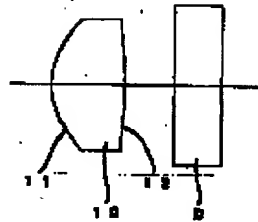
【図 21】



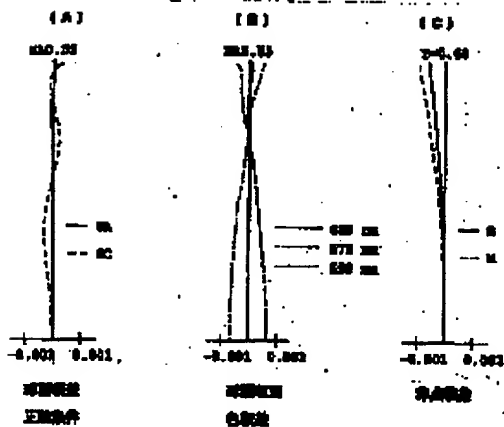
【図 22】



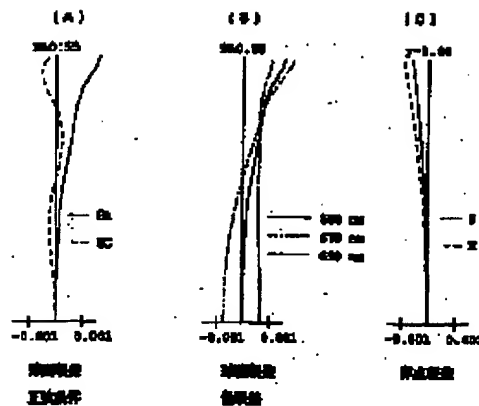
【図 23】



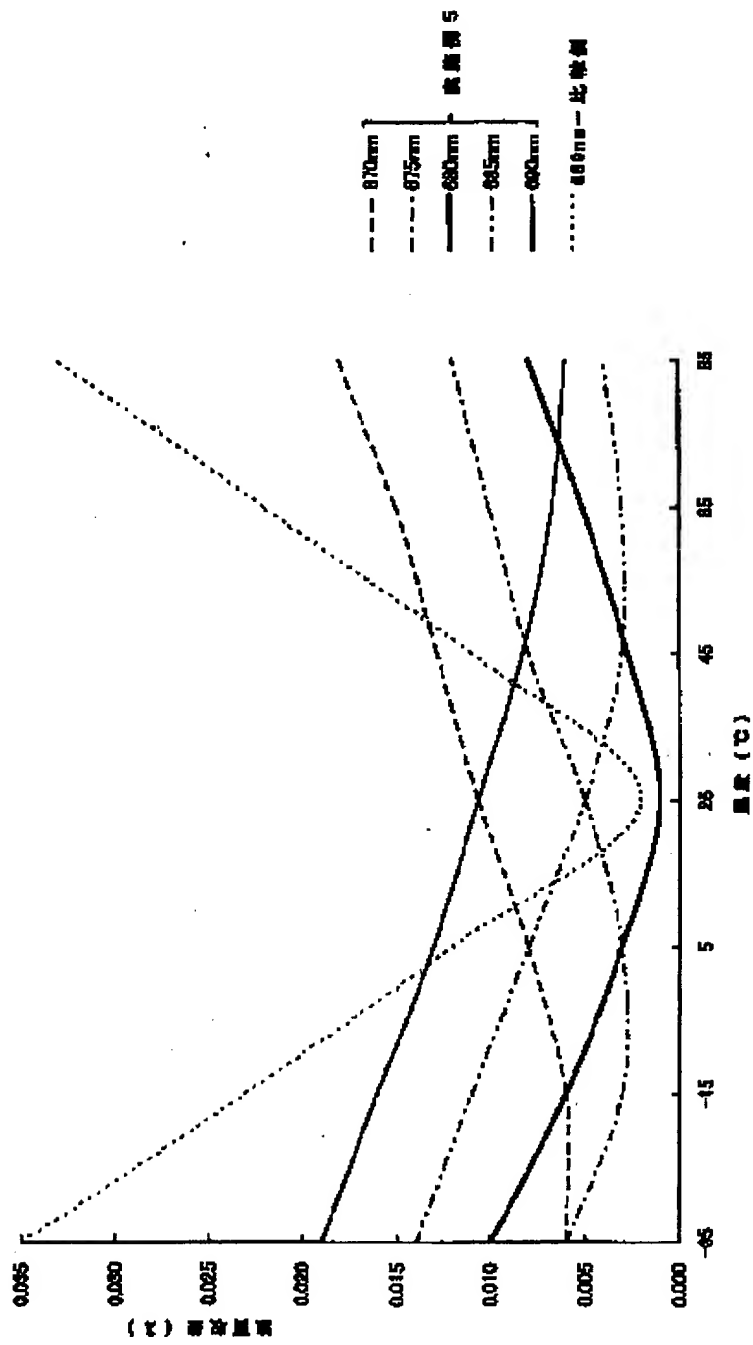
【図 24】



【図 25】



【 図 2 6 】



【図 2 7】

